

Л. А. Воеводина

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АПК: ОБОСНОВАНИЕ МЕЛИОРАТИВНОГО ПАРКА НА ЮГЕ РОССИИ

Цель исследования – проанализировать отечественный и зарубежный опыт применения агент-ориентированного моделирования (АОМ) и рассмотреть перспективы его использования в мелиорации, в частности для создания мелиоративных парков (МП). Особенность АОМ состоит в создании инструмента, симулирующего реально возникающие явления и учитывающего поведение популяции агентов, обладающих определенными свойствами. В настоящее время развитие концепции создания МП с использованием механизма государственно-частного партнерства требует учета интересов большого количества вовлеченных сторон. Эти интересы зачастую могут быть противоположными, а успешное сотрудничество возможно только при условии удовлетворенности всех вовлеченных сторон. Поиск инструментария для выработки взаимовыгодных решений по экономическим вопросам функционирования МП является действительно актуальным. АОМ может стать тем инструментом, который поможет принимать решения, благоприятные для всех участников проектов МП. АОМ в области экономических и социологических знаний имеет довольно широкое применение, но в аграрной экономике АОМ еще не получило достойного распространения, хотя предпосылки теоретического прорыва в этом вопросе имеются. Проанализированные источники информации показывают, что метод АОМ может быть с успехом использован в системах, где присутствуют лица, принимающие определенные решения, которые не всегда подчиняются генеральной цели. Отдельные элементы в рассмотренных выше моделях целесообразно использовать при разработке виртуальных моделей создания и функционирования МП. Данный метод можно применить при обосновании МП ввиду того, что в состав последнего входит большое количество хозяйств, каждое из которых имеет свои собственные интересы и находится в уникальных условиях окружающей среды.

Ключевые слова: агент, агент-ориентированное моделирование, мультиагентное моделирование, агент-ориентированный подход, сельское хозяйство, мелиорация, мелиоративный парк.

L. A. Voyevodina

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

AGENT-BASED MODELING IN AGRI- INDUSTRIAL COMPLEX: JUSTIFICATION OF RECLAMATION PARK IN SOUTHERN RUSSIA

The aim of the research is to analyze domestic and foreign experience of agent-based modeling (AOM) application and to consider the prospects for its application in land reclamation, namely, for creating land-reclamation parks (MP). The specific feature of an AOM is the creation of a tool simulating real-world phenomena and taking into account the behavior of agents' population with certain properties. Nowadays the development of the concept of cre-

ating MPs using the mechanism of public-private partnership requires consideration of the interests of a large number of parties involved. These interests can be often opposed, and successful cooperation is possible under conditions of satisfaction of all parties involved. The search for tools for developing mutually beneficial solutions on the economic issues of the MP functioning is really relevant. AOM can be the tool that will help make decisions that are favorable for all participants in MP projects. AOM in the field of economic and sociological knowledge has a fairly wide application, but in the agrarian economy AOM has not yet received a decent spread, although there are prerequisites for a theoretical breakthrough in this matter. The analyzed sources of information show that the AOM method can be successfully used in systems where there are persons who make certain decisions that do not always obey the general goal. Separate elements in the models discussed above should be used in the development of virtual models for the creation and operation of MPs. This method can be used to justify the MP in view of the fact that the latter includes a large number of farms, each of which has its own interests and is in unique environmental conditions.

Key words: agent, agent-based modeling, multi-agent modeling, agent-based approach, agriculture, land reclamation, reclamation park.

Введение. Увеличение объема информации способствует появлению новых аналитических систем, характеризующихся усовершенствованными методами вычислений, распознавания образов, организации хранения информации, в т. ч. статистических данных. Одной из таких аналитических систем является агент-ориентированное моделирование (АОМ). Агент-ориентированные (АО) модели учитывают индивидуальное поведение агентов. Концепция АОМ состоит в создании инструмента, симулирующего реально возникающие явления и учитывающего поведение популяции агентов, обладающих определенными свойствами.

В настоящее время происходит дальнейшее развитие механизмов, способствующих реализации концепции создания мелиоративных парков (МП) с использованием механизма государственно-частного партнерства [1–3]. Под термином «мелиоративный парк» автор подразумевает эффективный локальный агрокластер с явными конкурентными преимуществами в производстве продукции, в т. ч. органической, ориентированный на конкретный рынок сбыта в России и за рубежом, расположенный на землях сельскохозяйственного назначения, на территории существующей(их) или планируемой(ых) мелиоративной(ых) систем(ы), находящейся(ихся) в государственной (федеральной), муниципальной или частной собственности, управляемый компанией, созданной с целью осуществле-

ния управления созданием, развитием и функционированием МП. Исходя из представленного выше определения, в МП может потребоваться учесть интересы большого количества вовлеченных сторон. Эти интересы зачастую могут быть противоположными, а успешное сотрудничество возможно только при условии удовлетворенности всех вовлеченных сторон. Поиск инструментария для выработки взаимовыгодных решений по экономическим вопросам функционирования МП является действительно актуальным. АОМ может стать тем инструментом, который поможет принимать решения, благоприятные для всех участников проектов МП.

Цель исследования – проанализировать отечественный и зарубежный опыт применения агент-ориентированного моделирования и рассмотреть перспективы его использования в мелиорации, в частности для создания мелиоративных парков.

Преимущества АОМ перед другими инструментами моделирования можно разделить на три направления: 1) оно учитывает возникающие явления; 2) дает естественное описание системы и 3) является гибким инструментом. Возможность АОМ учитывать возникающие явления является тем свойством, которое определяет другие преимущества [4]. Использование АОМ целесообразно в следующих случаях:

- когда индивидуальное поведение не является линейным и может быть охарактеризовано с помощью предельных значений, правил типа «если – то» или нелинейных связей. С помощью дифференциальных уравнений трудно описать отсутствие последовательности в индивидуальном поведении;

- индивидуальное поведение характеризуют такие категории, как память, путь – зависимость, немарковское поведение или временные корреляции, включая изучение и адаптацию;

- взаимодействия агентов являются гетерогенными и могут генерировать сетевые эффекты. Совокупные уравнения потоков допускают

(предполагают) глобальное гомогенное смешение, но топология сетевых взаимодействий может привести к значительным отклонениям от прогнозируемого совокупного поведения;

- средние величины не работают. Совокупные дифференциальные уравнения приводят к сглаживанию колебаний, в отличие от АОМ, для которого важны возникающие возмущения в системе, потому что при схожих условиях колебания могут усиливаться: система является линейно стабильной, но нестабильной к большим возмущениям.

Использование АОМ позволяет создавать системы, максимально приближенные к реальности. В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин и др. [5, 6] трактуют появление АОМ как результат эволюции методологии моделирования: переход от мономodelей (одна модель – один алгоритм) к мульти-моделям (одна модель – множество независимых алгоритмов). При этом агент в АОМ является автономной сущностью, имеющей, как правило, графическое представление, с определенной целью функционирования и возможностью обучения в процессе существования до уровня, определяемого разработчиками соответствующей модели. Агентами могут быть любые существующие в реальной жизни объекты, например люди, живые организмы, предприятия, автомобили, недвижимые объекты, а также совокупности однотипных объектов. Основной задачей учета этих объектов в рамках модели является описание их свойств, на которые необходимо обратить внимание. Основное отличие АОМ от других моделей заключается в существовании большого количества взаимодействий между агентами.

Термины «агент» и «мультиагентная система» первоначально появились в сфере искусственного интеллекта как абстрактное понятие автономных единиц, которые реагируют на окружающие их стимулы, достигая определенной цели. Использование АОМ-подхода распространилось из области компьютерной науки во многие другие области, такие как социальные, биологические и науки об окружающей среде. По данным М. Niazi

и А. Hussain, в конце 1990-х – начале 2000-х гг. наибольшее распространение использование АОМ получило в области информатики, экологии, технических наук, социологии, биологии, наук об окружающей среде, математики [7]. Применение метода АОМ очень разнообразно. Он может быть использован при рассмотрении таких проблем:

- социальное влияние и формирование мнения [8, 9];
- формирование коалиций [10];
- коллективный разум [11];
- социальные сети [12, 13];
- социальная кооперация [14];
- нормы социального поведения [15, 16];
- социальные конфликты [17];
- финансовые рынки [18];
- конкуренция и кооперация между организациями [19];
- микроэкономические модели [20, 21];
- макроэкономические модели [22, 23];
- организационные и управленческие решения [24];
- миграция [25, 26];
- агломерации и сегрегации [27];
- городское и региональное развитие [28, 29];
- динамика движения [30, 31];
- динамика толпы [32, 33];
- системные риски в социально-экономических системах [34, 35] и др.

Таким образом, АОМ в области экономических и социологических знаний имеет довольно широкое применение, но в аграрной экономике АОМ еще не получило достойного распространения, хотя предпосылки теоретического прорыва в этом вопросе имеются. По мнению Р. Scrinemachers и Т. Berger [36], одно из первых использований АО подхода в сельскохозяйственной экономике можно найти в работах R. Day, Т. Heihues (1960)

в рекурсивных линейных программируемых моделях для анализа аграрной политики. Затем АОМ появляется в конце 1990-х гг. при моделировании изменений в землепользовании с использованием объектно-ориентированных языков программирования типа C++ в работах А. Balmann, Т. Berger, D. C. Parker, М. Manson и др. [37–39].

АО подход имеет преимущество в моделировании взаимодействия отдельных фирм и, кроме того, облегчает внедрение в процесс моделирования пространственно-временного измерения.

При моделировании в аграрной политике может быть применено два основных подхода к моделированию [40]: 1) во-первых, в качестве новой методики для решения проблем, которые не могут быть решены традиционными методами, например таких, как взаимодействия между хозяйствами и моделирование процесса принятия решений в хозяйстве с помощью эвристических правил, основанных на предыдущем опыте; 2) во-вторых, при создании моделей сельскохозяйственных систем как комплекса адаптирующихся систем, т. е. систем, способных к адаптации, которые при изменении внешних условий автоматически изменяют свои параметры, функционирование, структуру и т. д. с целью сохранения или достижения оптимального состояния.

Для сельскохозяйственной отрасли характерно наличие некоторых специфических свойств. В агроэкономической системе существует сильная зависимость будущего развития от выбранных ранее стандартов или правил, поэтому система претерпевает изменения в фазовых переходах, а не постоянно, следовательно, анализ должен быть сфокусирован на долгосрочных результатах с учетом социальных, экономических и других качественных данных. Кроме того, при наличии явления автокатализа, подразумевающего ускорение реакций между действующими лицами, когда конкретные редкие события оказывают массивное влияние на окончательный результат, предсказать этот конечный результат, полагаясь

на усредненные значения, практически невозможно [41]. По сообщению S. N. Durlauf [42], такие изменения парадигмы имеют большое значение для лиц, ответственных за политику в области сельского хозяйства. Отклики системы на эти изменения политики не являются линейными и постепенными, а альтернативные политики могут не дать альтернативных результатов [43]. АОМ может быть достойным продолжением традиционной парадигмы математического программирования ввиду сложности сельскохозяйственных систем, которая исходит из множественности и изменчивости взаимодействий агентов и, как правило, игнорируется в обычных моделях.

Таким образом, система в сельском хозяйстве может быть представлена следующим образом. Производители сельскохозяйственного сырья (производственная подсистема) являются основными агентами. Они взаимодействуют с другими агентами, расположенными в цепочке поставок, либо на стороне входа, либо на стороне выхода. Решения производителей имеют первостепенное значение для органов власти, принимающих решения по вопросам структуры производства, используемых технологий, капитальных вложений и прекращения сельскохозяйственной деятельности. Все вышеперечисленное приводит к долгосрочным структурным изменениям сельскохозяйственной системы [37]. На решения, принимаемые производителями, влияет множество факторов: личные предпочтения (например, отношение к риску) и стратегические (долгосрочные) цели, которые с большой вероятностью могут отличаться от традиционных целей получения максимальной прибыли или дохода; доступность информации и способность к обработке информации, на которые влияют социальные взаимодействия сельхозтоваропроизводителей; накопление механизмов обратной связи по опыту и знаниям, которые ведут к эволюции процесса принятия решений. Также следует учитывать, что распространение решений производителей имеет пространственное и временное измерение, которое обычно игнорируется или приуменьшается в традиционном моделировании. Помимо производственной подсистемы, есть и другие, представляю-

щие интерес при принятии решений в области сельского хозяйства, например подсистема окружающей среды, включающая биоразнообразие, реакцию природных организмов на изменения физических параметров и др.

В области аграрной политики используется несколько моделей, созданных на основе АО подхода. Наиболее известными в настоящее время являются модели: AgriPoliS, RegMAS, MP-MAS, SWISS-Land (таблица 1).

Таблица 1 – Применение метода АОМ в программных продуктах для оценки политики в области сельского хозяйства [40]

Показатель	AgriPoliS	RegMAS	SWISS-Land	MP-MAS
1	2	3	4	5
Детали реализации				
Язык программирования	C++	C++ с графическим интерфейсом пользователя	Repast J ¹ , GAMS ²	C++, OSL
Вводимые данные	FADN ³ , другие региональные службы	FADN, Corine Land Cover	База данных MySQL	Книги Excel
Тип модели	Закрытая	Открытая	Закрытая	Доступна в двух типах (ограничения до 50 агентов)
Агенты				
Основные участники	Хозяйство	Хозяйство	Хозяйство	Хозяйство
Принятие решения	Смешанное целочисленное математическое программирование	Смешанное целочисленное математическое программирование	Смешанное целочисленное математическое программирование	Смешанное целочисленное математическое программирование
Взаимодействия				
Взаимодействия	Земельный рынок, встраивание рынков продуктов, рынки труда, капитала	Механизм обмена земельными участками	Функция, учитывающая рыночные отношения, не включена	Местный рынок земли и воды, инновационная диффузия
Пространственные измерения				
Пространственные измерения	Решетка, абстрактный ландшафт	Решетка, пространственные данные из баз данных FADN, Corine Land Cover	Нет пространственного измерения	Решетка

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Временные измерения				
Временной шаг	Год	Год	Год	Год
¹ Библиотека, предоставляющая средства для агент-ориентированного моделирования систем. ² The General Algebraic Modeling System (GAMS) (Генеральная алгебраическая моделирующая система) – высокоуровневая моделирующая система для математической оптимизации. ³ The Farm Accountancy Data Network (FADN) является инструментом для оценки доходов сельскохозяйственных товаропроизводителей и влияния Общей аграрной политики в ЕС.				

AgriPoliS (Agriculture Policy Simulator) создан с целью оценки текущей и будущей политики в области сельского хозяйства. Данная модель учитывает особенности, присущие сельскому хозяйству Германии [44]. Язык программирования C++. Код и использование являются закрытыми.

RegMAS (Regional Multi Agent Simulator) [45] – открытая программа, она основана на программе AgriPoliS, спроектирована для симуляции долгосрочных эффектов от правительственной политики в области сельского хозяйства.

SWISS-Land (StrukturWandel InformationsSystem Schweiz) создана с целью представления в наиболее реалистичном виде отрасли сельского хозяйства в Швейцарии в целом, по замыслу разработчиков такая модель будет способствовать улучшению качества и точности прогнозов, учитывающих любые изменения в области аграрной политики [40].

MP-MAS (Mathematical Programming-based Multi-Agent Systems) – программный продукт с использованием мультиагентного метода с целью понимания того, как сельскохозяйственные технологии, рыночная динамика, изменения окружающей среды и политические решения влияют на неоднородную популяцию аграрных хозяйств и относящиеся к ним агроэкологические ресурсы. Система включает модели оптимизации функций биофизической продуктивности для орошения и удобрения [36].

У. Handayati и др. [46] применили АО подход для моделирования за-

ключения контрактов между сельхозтоваропроизводителями и снабжающими их организациями.

F. Tzima, I. N. Athanasiadis и др. [47] указывают на то, что АО подход позволяет облегчить сложность системы управления орошением.

Для управления орошаемыми экосистемами АОМ было применено в таких моделях, как SHADOC [48], SINUSE [49], CATCHSCAPE [50], AWARE [51], MANGA [52], «Bali» model [53], «Lake» model [54].

В РФ широкое использование АОМ отмечено в работах В. Л. Макарова, А. Р. Бахтизина, Е. Д. Сушко, ими были разработаны АО модели воспроизводства населения Санкт-Петербурга, трудовой миграции в Россию из приграничных территорий Китая, внутренней и внешней миграции в странах ЕС, применен АО подход для исследований рынка авиаперевозок и моделирования развития экономики регионов РФ [5, 26, 28, 55–70].

В работах З. Б. Соховой, В. Г. Редько и др. на основе АОМ создаются АО модели прозрачной экономики, в т. ч. симулирующие рынки аренды сельскохозяйственных угодий [71].

Таким образом, проанализированные нами источники информации показывают, что метод АОМ может быть с успехом использован в системах, где присутствуют люди, принимающие определенные решения, которые не всегда подчиняются одной цели. Отдельные элементы в рассмотренных выше моделях целесообразно использовать при разработке виртуальных моделей создания и функционирования МП.

Разработка АО модели МП предполагает воссоздание в рамках одной комплексной модели нескольких частных моделей (природной среды, экономической архитектуры и др.) таким образом, чтобы имитировать взаимосвязи происходящих в этих сферах процессов.

Действующими агентами в модели являются организации (резиденты МП, управляющая компания МП (УКМП)), способные принимать сигналы из внешней среды и действовать в соответствии со своими интересами и

принятыми общественными правилами, в т. ч. законодательными актами федерального, регионального и муниципального уровня.

Целью разрабатываемой модели будет являться наиболее реалистичное моделирование взаимодействия и реакции агентов на различные условия как природного, так и экономического характера.

Исходные данные и окружающая среда МП могут быть описаны с использованием нескольких моделей. Целесообразно разработать модели природной среды, экономической архитектуры, потенциала сельского населения.

Так, модель природной среды предназначена для отслеживания состояния имеющихся природных ресурсов, необходимых для экономического благополучия организаций, участвующих в МП (резиденты МП, УКМП), а также комфортной жизни людей, проживающих на территориях, попадающих под влияние МП. Для экономического благополучия МП важными ресурсами являются сельскохозяйственные угодья, характеризующиеся определенными показателями. Модель может быть основана на многослойной карте территории МП (ГИС-карте), которая включает несколько слоев (например, физическую карту с системой водных ресурсов; карты различных почвенных показателей, важных при выращивании сельскохозяйственных культур; карту глубины залегания грунтовых вод, карту минерализации грунтовых вод; карту минерализации оросительной воды; карту распределения сельхозугодий (в т. ч. орошаемых) по степени засоленности почв в слое 0–100 см; карту распределения орошаемых сельхозугодий по степени солонцеватости почв и т. д.). ГИС-карта может быть дополнена процедурами, позволяющими рассчитывать уровни загрязненности природной среды и их изменения во времени как от естественных причин, так и в результате деятельности человека.

Экономическая архитектура МП состоит из пространственной и функциональной моделей. В пространственной модели учитывается терри-

ториальное размещение производства, необходимые для него ресурсы, развитие транспортной инфраструктуры, расположение водоподводящей сети и других мелиоративных объектов, границы владения участками, структура посевных площадей, возможные коммуникации и т. д. Данная модель основана на соответствующих картах.

Функциональная модель экономической архитектуры МП рассматривает зависимость результата деятельности агентов-организаций (в т. ч. агентов-резидентов) от значения определяющих его факторов при заданных правилах общественного устройства.

В модели потенциала сельского населения агенты представлены людьми, обладающими такими характеристиками, как пол, возраст, состояние здоровья, активность, образование, сфера деятельности, опыт работы, трудолюбие, доход, квалификация и др. Агенты обладают «системой ценностей» в виде относительной значимости основных жизненных устремлений и соответствующих критериев оценки удовлетворенности своим положением. Данная модель является одной из наиболее сложных и в то же время очень важных, потому что учет особенностей и устремлений населения является важным для успешного функционирования МП, особенно в вопросах внедрения инноваций в сельскохозяйственное производство. Отсутствие удовлетворенности людей в справедливой оценке их труда может свести на нет реализацию даже очень перспективной идеи.

В ходе последующего моделирования с использованием АО подхода может понадобиться разработка и других моделей, встраиваемых в архитектуры модели МП.

Выводы. Проведенный обзор применения АОМ позволил установить следующее: использование данного метода возможно при обосновании МП ввиду того, что в состав последнего входит большое количество участников, каждый из которых имеет свои собственные интересы и находится в уникальных условиях окружающей среды. Разработка АО моделей

позволит создавать реалистичные сценарии функционирования МП и просчитывать ситуации при возникающих изменениях.

Список использованных источников

1 Meliorative institutional environment – area of state interests / V. N. Shchedrin, S. M. Vasilyev, A. V. Kolganov, L. N. Medvedeva, A. A. Kupriyanov // *Espacios*. – 2018. – Vol. 39, № 12. – P. 28.

2 Щедрин, В. Н. Создание «мелиоративного аграрного парка» на основе ресурсосберегающих технологий, альтернативных источников энергии, механизма государственно-частного партнерства / В. Н. Щедрин // *Стратегические направления развития АПК стран СНГ: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф.*, г. Барнаул, 27–28 февр. 2017 г. – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2017. – Т. 2. – С. 163–165.

3 Медведева, Л. Н. Научно-методическое обоснование создания мелиоративного аграрного парка на юге России / Л. Н. Медведева // *Экология и мелиорация агроландшафтов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых*, г. Волгоград, 2–5 окт. 2017 г. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. – С. 143–147.

4 Bonabeau, E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems / E. Bonabeau // *Adaptive Agents, Intelligence, and Emergent Human Organization: Capturing Complexity through Agent-Based Modeling: Arthur M. Sackler Colloquium of the National Academy of Sciences, held October 4–6, 2001, at the Arnold and Mabel Beckman Center of the National Academies of Science and Engineering in Irvine, CA*. – 2002. – Vol. 99, suppl. 3. – P. 7280–7287.

5 Агент-ориентированные модели: мировой опыт и технические возможности реализации на суперкомпьютерах / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко, В. А. Борисов, В. А. Роганов, В. А. Васенин // *Вестник Российской академии наук*. – 2016. – Т. 86, № 3. – С. 252–262.

6 Макаров, В. Л. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели) / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин. – М.: Экономика, 2013. – 296 с.

7 Niazi, M. Agent-based computing from multi-agent systems to agent-based models: a visual survey / M. Niazi, A. Hussain // *Scientometrics*. – 2011. – Vol. 89. – P. 479–499.

8 Mas, M. Individualization as Driving Force of Clustering Phenomena in Humans / M. Mas, A. Flache, D. Helbing // *PLoS Comput. Biol.* – 2010. – Vol. 6(10). – DOI: 10.1371/journal.pcbi.1000959.

9 Nardini, C. Who's Talking First? Consensus or Lack Thereof in Coevolving Opinion Formation Models / C. Nardini, B. Kozma, A. Barrat // *Phys. Rev. Lett.* – 2008. – Vol. 100(15). – DOI: 10.1103/PhysRevLett.100.158701.

10 Sichman, J. S. DEPINT: Dependence-based coalition formation in an open multi-agents scenario [Electronic resource] / J. S. Sichman // *J. Artif. Soc. Soc. Simulat.* – 1998. – Vol. 1(2). – 28 p. – Mode of access: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/3.html>.

11 Bonabeau, E. Inspiration for optimization from social insect behavior / E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz // *Nature*. – 2000. – Vol. 406(6791). – P. 39–42.

12 Szabo, G. Evolutionary games on graphs / G. Szabo, G. Fath // *Phys. Rep.* – 2007. – Vol. 446(4-6). – P. 97–216.

13 Holme, P. Dynamics of networking agents competing for high centrality and low degree / P. Holme, G. Ghoshal // *Phys. Rev. Lett.* – 2006. – Vol. 96(9). – 5 p.

14 Bowles, S. The evolution of strong reciprocity: cooperation in heterogeneous populations / S. Bowles, H. Gintis // *Theor. Popul. Biol.* – 2004. – Vol. 65(1). – P. 17–28.

15 Evolutionary establishment of moral and double moral standards through spatial in-

teractions / D. Helbing, A. Szolnoki, M. Perc, G. Szabo // *PLoS Comput. Biol.* – 2010. – Vol. 6(4). – doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000758.

16 Rauhut, H. Punishment deters crime because humans are bounded in their strategic decision-making / H. Rauhut, M. Junker // *J. Artif. Soc. Soc. Simulat.* – 2009. – Vol. 12(3). – P. 1.

17 Cederman, L.-E. Modeling the size of wars: From billiard balls to sandpiles / L.-E. Cederman // *Am. Polit. Sci. Rev.* – 2003. – Vol. 97. – P. 135–150.

18 Agent-based simulation of a financial market / M. Raberto, S. Cincotti, S. M. Focardi, M. Marchesi // *Phys. Stat. Mech. Appl.* – 2001. – Vol. 299(1-2). – P. 319–327.

19 Zhang, J. Growing Silicon Valley on a landscape: an agent-based approach to high-tech industrial clusters / J. Zhang // *Entrepreneurships, the New Economy and Public Policy.* – 2005. – P. 71–90.

20 Kaihara, T. Multi-agent based supply chain modeling with dynamic environment / T. Kaihara // *Int. J. Prod. Econ.* – 2003. – Vol. 85(2). – P. 263–269.

21 Preist, C. Commodity trading using an agent-based iterated double auction / C. Preist // *In Proceedings of the third annual conference on Autonomous Agents.* – 1999. – P. 131–138.

22 Lebaron, B. Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents / B. Lebaron, L. Tesfatsion // *Am. Econ. Rev.* – 2008. – Vol. 98(2). – P. 246–250.

23 Tesfatsion, L. Agent-based computational economics: growing economies from the bottom up / L. Tesfatsion // *Artif. Life.* – 2002. – Vol. 8(1). – P. 55–82.

24 Simulation modeling in organizational and management research / J. R. Harrison, Z. Lin, G. R. Carroll, K. M. Carley // *Acad. Manag. Rev.* – 2007. – Vol. 32(4). – P. 1229–1245.

25 Onggo, B. S. Parallel discrete-event simulation of population dynamics / B. S. Onggo // *In Proceedings of Winter Simulation Conference.* – Miami, FL, USA, 2008. – P. 1047–1054.

26 Макаров, В. Л. Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко // *Управленческое консультирование.* – 2016. – № 12(96). – С. 16–25.

27 Emerging patterns in tumor systems: simulating the dynamics of multicellular clusters with an agent-based spatial agglomeration model / Y. Mansury, M. Kimura, J. Lobo, T. S. Deisboeck // *J. Theor. Biol.* – 2002. – Vol. 219(3). – P. 343–370.

28 Макаров, В. Л. Агент-ориентированная модель для мониторинга и управления реализацией больших проектов / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко // *Экономика и управление.* – 2017. – № 4(138). – С. 4–12.

29 Helbing, D. The physics of traffic and regional development / D. Helbing, K. Nagel // *Contemp. Phys.* – 2004. – Vol. 45(5). – P. 405–426.

30 Transition towards improved regional wood flows by integrating material flux analysis and agent analysis: the case of Appenzell Ausserrhoden, Switzerland / C. R. Binder, C. Hofer, A. Wiek, R. W. Scholz // *Ecol. Econ.* – 2004. – Vol. 49(1). – P. 1–17.

31 Dia, H. An agent-based approach to modelling driver route choice behaviour under the influence of real-time information / H. Dia // *Transport. Res. C: Emerg. Tech.* – 2002. – Vol. 10(5-6). – P. 331–349.

32 Henein, C. M. Agent-based modeling of forces in crowds / C. M. Henein, T. White // *In Multi-agent and Multi-agent-Based Simulation.* – Berlin: Springer, 2005. – P. 173–184.

33 Batty, M. Agent-based pedestrian modeling / M. Batty // *In Advanced spatial analysis: the CASA book of GIS.* – 2003. – P. 81.

34 Emergent macroeconomics: an agent-based approach to business fluctuations / D. Gatti, E. Gaffeo, M. Gallegati, G. Giulioni, A. Palestrini. – Berlin: Springer, 2008. – 128 p.

35 Aoki, M. Reconstructing Macroeconomics: A Perspective from Statistical Physics

and Combinatorial Stochastic Processes / M. Aoki, H. Yoshikawa. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2006. – 352 p. – (Japan-US Center UFJ Bank Monographs on International Financial Markets).

36 Schreinemachers, P. An agent-based simulation model of human-environment interactions in agricultural systems / P. Schreinemachers, T. Berger // *Environmental Modelling & Software*. – 2011. – Vol. 26(7). – P. 845–859.

37 Balmann, A. Farm-Based Modelling of Regional Structural Change: A Cellular Automata Approach / A. Balmann // *European Review of Agricultural Economics*. – 1997. – Vol. 24(1). – P. 85–108.

38 Berger, T. Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis / T. Berger // *Agricultural Economics*. – 2001. – Vol. 25(2–3). – P. 245–260.

39 Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review / D. C. Parker [et al.] // *Annals of the Association of American Geographers*. – 2003. – Vol. 93(2). – P. 314–337.

40 Kremmydas, D. Agent based modeling for agricultural policy evaluation: A review / D. Kremmydas. – 19 p. – (AUA Working Paper Series No. 2012-3).

41 Gallegati, M. Agent Based Models in Economics and Complexity / M. Gallegati, M. G. Richiardi // *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. – New York: Springer, 2009. – P. 25.

42 Durlauf, S. N. What Should Policymakers Know About Economic Complexity? / S. N. Durlauf. – Santa Fe Institute, 1997. – 10 p.

43 Weisbuch, G. Dynamical Aspects in the Adoption of Agri-Environmental Measures / G. Weisbuch, G. Boudjema // *Modeling Complexity in Economic and Social Systems*; edited by F. Schweitzer. – New Jersey, London, Singapore, Hong Kong: World Scientific, 2002. – P. 245–272.

44 AgriPoliS 2.1 – Model Documentation. Technical Report / K. Kellermann [et al.]. – Halle, Saale: IAMO, 2008.

45 Lobianco, A. RegMAS – Regional Multi Agent Simulator Overview (Version 1.3.0) [Electronic resource] / A. Lobianco. – Mode of access: https://sourceforge.net/projects/regmas/files/regmas/1.3.0/regmas_1.3.0.tgz/download, 2018.

46 A Simulation of Contract Farming Using Agent Based Modeling / Y. Handayati, T. M. Simatupang, T. Perdana, M. Siallagan // *Journal of Operations and Supply Chain Management*. – 2016. – Vol. 9. – P. 28–48.

47 Tzima, F. Agent-based modelling and simulation in the irrigation management sector: applications and potential / F. Tzima, I. N. Athanasiadis, P. A. Mitkas // *Water Saving in Mediterranean Agriculture (WASAMED 2007)*. Options Mediterraneennes. – 2007. – Vol. 56-2. – P. 273–286.

48 Barreteau, O. SHADOC: A multi-agent model to tackle viability of irrigated systems / O. Barreteau, F. Bousquet // *Annals of Operations Research*. – 2000. – Vol. 94. – P. 139–162.

49 Feuillette, S. SINUSE: A multi-agent model to negotiate water demand management on a free access water table / S. Feuillette, F. Bousquet, P. L. Goulven // *Environmental Modelling & Software*. – 2003. – Vol. 18. – P. 413–427.

50 Agent based simulation of a small catchment water management in Northern Thailand: Description of the CATCHSCAPE model / N. Becu, P. Perez, A. Walker, O. Barreteau, C. L. Page // *Ecological Modelling*. – 2003. – Vol. 170. – P. 319–331.

51 Farolfi, S. AWARE: A Decision Support Tool towards decentralized water management in South Africa / S. Farolfi, R. M. Hassan // *International Colloquium in Water Governance and Sustainable Development*. – Sousse (Tunisia), 2003.

52 An Agent-Based Simulation Testing the Impact of Water Allocation on Farmers

Collective Behaviours / M. L. Bars, J. M. Attonaty, S. Pinson, N. Ferrand // Simulation. – 2005. – Vol. 81(3). – P. 223–235.

53 Lansing, J. S. Emergent properties of Balinese water temple networks: coadaptation on a rugged fitness landscape / J. S. Lansing, J. N. Kremer // American Anthropologist. – 1993. – Vol. 95. – P. 97–114.

54 Janssen, M. A. Coordination in irrigation systems: An analysis of the Lansing-Kremer model of Bali / M. A. Janssen // Agricultural Systems. – 2007. – Vol. 93(1-3). – P. 170–190.

55 Денисова, С. В. Агент-ориентированная модель интеграции организационных культур при слияниях и поглощениях компаний / С. В. Денисова, А. Р. Бахтизин // Аудит и финансовый анализ. – 2011. – № 6. – С. 316–323.

56 Бахтизин, А. Р. Применение агент-ориентированного подхода для исследования рынка авиаперевозок / А. Р. Бахтизин, М. Ю. Денисов, В. В. Шахов // Федерализм. – 2008. – № 4(52). – С. 221–231.

57 Моделирование развития экономики региона и эффективность пространства инноваций / В. Макаров, С. Айвазян, М. Афанасьев, А. Бахтизин, А. Нанавян // Форум. – 2016. – Т. 10, № 3. – С. 76–90.

58 Макаров, В. Л. Агент-ориентированная социо-эколого-экономическая модель региона / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2015. – № 3(288). – С. 2–11.

59 Системные основы решения управленческих задач взаимодействия фундаментальной и прикладной науки с производственным сектором как основной фактор новой индустриализации России / В. Л. Макаров, А. И. Агеев, В. А. Зеленский, Е. Л. Логинов // Экономические стратегии. – 2013. – Т. 15, № 2(110). – С. 108–117.

60 Макаров, В. Об экономическом развитии и не только в контексте будущих достижений науки и техники / В. Макаров // Вопросы экономики. – 2008. – № 3. – С. 39–46.

61 Применение суперкомпьютерных технологий для моделирования социально-экономических систем / В. В. Окрепилов, В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, С. Н. Кузьмина // Экономика региона. – 2015. – № 2(42). – С. 301–312.

62 Макаров, В. Л. Обзор математических моделей экономики с инновациями / В. Л. Макаров // Экономика и математические методы. – 2009. – Т. 45, № 1. – С. 3–14.

63 Макаров, В. Л. Новый инструментарий в общественных науках – агент-ориентированные модели: общее описание и конкретные примеры / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин // Экономика и управление. – 2009. – № 12(50). – С. 13–25.

64 Макаров, В. Экономическое развитие России и проблемы микроэкономики знаний / В. Макаров, Г. Клейнер // Проблемы теории и практики управления. – 2008. – № 2. – С. 8–22.

65 Макаров, В. Л. Компьютерное моделирование взаимодействия между муниципалитетами, регионами, органами государственного управления / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко // Проблемы управления. – 2013. – № 6. – С. 31–40.

66 Макаров, В. Л. Современные методы прогнозирования последствий управленческих решений / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин // Управленческое консультирование. – 2015. – № 7(79). – С. 12–24.

67 Оценка эффективности регионов РФ с учетом интеллектуального капитала, характеристик готовности к инновациям, уровня благосостояния и качества жизни населения / В. Л. Макаров, С. А. Айвазян, М. Ю. Афанасьев, А. Р. Бахтизин, А. М. Нанавян // Экономика региона. – 2014. – № 4(40). – С. 9–30.

68 Средства суперкомпьютерных систем для работы с агент-ориентированными моделями / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, В. А. Васенин, В. А. Роганов, И. А. Трифонов // Программная инженерия. – 2011. – № 3. – С. 2–14.

69 Макаров, В. Л. Ситуационное моделирование – эффективный инструмент для стратегического планирования и управления / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко // *Управленческое консультирование*. – 2016. – № 6(90). – С. 26–39.

70 Макаров, В. Л. О математических моделях конкуренции между предприятиями / В. Л. Макаров // *Экономическая наука современной России*. – 2002. – № 1. – С. 5–9.

71 Сохова, З. Б. Агент-ориентированная модель аренды сельскохозяйственных угодий в регионе / З. Б. Сохова, В. Г. Редько, З. В. Нагоев // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. – 2015. – № 6-2(68). – С. 174–182.

References

1 Shchedrin V.N., Vasil'ev S.M., Kolganov A.V., Medvedeva L.N., Kupriyanov A.A., 2018. Meliorative Institutional Environment – Area of State Interests. *Espacios*, vol. 39, no. 12, pp. 28.

2 Shchedrin V.N., 2017. *Sozdanie «meliorativnogo agrarnogo parka» na osnove resursosberegayushchikh tekhnologiy, al'ternativnykh istochnikov energii, mekhanizma gosudarstvenno-chastnogo partnerstva* [Creating a "reclamation agrarian park" based on resource-saving technologies, alternative energy sources, the public-private partnerships mechanism]. *Strategicheskie napravleniya razvitiya APK stran SNG: materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Strategic Directions of the Agro-Industrial Complex of the CIS Countries Development: Proc. of the XVI International Scientific-Practical Conference]. Novosibirsk, SFSCA RAS, vol. 2, pp. 163-165. (In Russian).

3 Medvedeva L.N., 2017. *Nauchno-metodicheskoe obosnovanie sozdaniya meliorativnogo agrarnogo parka na yuge Rossii* [Scientific-methodical substantiation of the creation of reclamation agrarian park in the south of Russia]. *Ekologiya i melioratsiya agrolandshaftov: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [Ecology and Reclamation of Agrolandscapes: Proc. of the International Scientific-Practical Conference of Young Scientists]. Volgograd, Federal Research Center for Agroecology, Russian Academy of Sciences, pp. 143-147. (In Russian).

4 Bonabeau E., 2002. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Adaptive Agents, Intelligence, and Emergent Human Organization: Capturing Complexity through Agent-Based Modeling: Arthur M. Sackler Colloquium of the National Academy of Sciences, held on October 4–6, 2001, at the Arnold and Mabel Center of Irvine, CA.*, vol. 99, suppl. 3, pp. 7280-7287.

5 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Borisov V.A., Roganov V.A., Vasenin V.A., 2016. *Agent-oriyentirovannyye modeli: mirovoy opyt i tekhnicheskie vozmozhnosti realizatsii na superkomp'yuterakh* [Agent-based modelling: world experience and technical opportunities of supercomputers implementation]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bull. of the Russian Academy of Sciences], vol. 86, no. 3, pp. 252-262. (In Russian).

6 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., 2013. *Sotsial'noe modelirovanie – novyy komp'yuternyy proryv (agent-oriyentirovannyye modeli)* [Social Modeling – a New Computer Breakthrough (agent-based modeling)]. Moscow, Economy Publ., 296 p. (In Russian).

7 Niazi M., Hussain A., 2011. Agent-based computing from multi-agent systems to agent-based models: a visual survey. *Scientometrics*, vol. 89, pp. 479-499.

8 Mas M., Flache A., Kozma B., Helbing D., 2010. Individualization as Driving Force of Clustering Phenomena in Humans. *PLoS Comput. Biol.*, vol. 6(10), 10.1371/journal.pcbi.1000959.

9 Nardini C., Barrat A., 2008. Who's Talking First? Consensus or Lack Thereof in Coevolving Opinion Formation Models. *Phys. Rev. Lett.*, vol. 100(15), 10.1103/PhysRevLett.100.158701.

10 Sichman J.S., 1998. DEPINT: Dependence-based coalition formation in an open multi-agents scenario. *J. Artif. Soc. Soc. Simulat.*, vol. 1(2), 28 p., available: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/3.html>.

11 Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G., 2000. Inspiration for optimization from social insect behavior. *Nature*, vol. 406(6791), pp. 39-42.

12 Szabo G., Fath G., 2007. Evolutionary games on graphs. *Phys. Rep.*, vol. 446(4-6), pp. 97-216.

13 Holme P., Ghoshal G., 2006. Dynamics of networking agents competing for high centrality and low degree. *Phys. Rev. Lett.*, vol. 96(9), 5 p.

14 Bowles S., Gintis H., 2004. The evolution of strong reciprocity: cooperation in heterogeneous populations. *Theor. Popul. Biol.*, vol. 65(1), pp. 17-28.

15 Helbing D., Szolnoki A., Perc M., Szabo G., 2010. Evolutionary establishment of moral and double moral standards through spatial interactions. *PLoS Comput. Biol.*, vol. 6(4), doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000758.

16 Rauhut H., Junker M., 2009. Punishment deters crime because humans are bounded in their strategic decision-making. *J. Artif. Soc. Soc. Simulat.*, vol. 12(3), pp. 1.

17 Cederman L.-E., 2003. Modeling the size of wars: From billiard balls to sandpiles. *Am. Polit. Sci. Rev.*, vol. 97, pp. 135-150.

18 Raberto M., Cincotti S., Focardi S.M., Marchesi M., 2001. Agent-based simulation of a financial market. *Phys. Stat. Mech. Appl.*, vol. 299(1-2), pp. 319-327.

19 Zhang J., 2005. Growing Silicon Valley on a landscape: an agent-based approach to high-tech industrial clusters. *Entrepreneurships, the New Economy and Public Policy*, pp. 71-90.

20 Kaihara T., 2003. Multi-agent based supply chain modeling with dynamic environment. *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 85(2), pp. 263-269.

21 Preist C., 1999. Commodity trading using an agent-based iterated double auction. *Proceed. of the Third Annual Conference on Autonomous Agents*. pp. 131-138.

22 Lebaron B., Tesfatsion L., 2008. Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents. *Am. Econ. Rev.*, vol. 98(2), pp. 246-250.

23 Tesfatsion L., 2002. Agent-based computational economics: growing economies from the bottom up. *Artif. Life*, vol. 8(1), pp. 55-82.

24 Harrison J.R., Lin Z., Carroll G.R., Carley K.M., 2007. Simulation modeling in organizational and management research. *Acad. Manag. Rev.*, vol. 32(4), pp. 1229-1245.

25 Onggo B.S., 2008. Parallel discrete-event simulation of population dynamics. *Proc. of Winter Simulation Conference*. Miami, FL, USA, pp. 1047-1054.

26 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., 2016. *Agent-orientirovannyye modeli kak instrument aprobatzii upravlencheskikh resheniy* [Agent-based models as a means for testing of management solutions]. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie* [Administrative Consulting], no. 12(96), pp. 16-25. (In Russian).

27 Mansury Y., Kimura M., Lobo J., Deisboeck T.S., 2002. Emerging patterns in tumor systems: simulating the dynamics of multicellular clusters with an agent-based spatial agglomeration model. *J. Theor. Biol.*, vol. 219(3), pp. 343-370.

28 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., 2017. *Agent-orientirovannaya model' dlya monitoringa i upravleniya realizatsiy bol'shikh proektov* [Agent-based model for monitoring and managing the implementation of large projects]. *Ekonomika i upravlenie* [Economics and Management], no. 4(138), pp. 4-12. (In Russian).

29 Helbing D., Nagel K., 2004. The physics of traffic and regional development. *Contemp. Phys.*, vol. 45(5), pp. 405-426.

30 Binder C.R., Hofer C., Wiek A., Scholz R.W., 2004. Transition towards improved regional wood flows by integrating material flux analysis and agent analysis: the case of Appenzell Ausserrhoden, Switzerland. *Ecol. Econ.*, vol. 49(1), pp. 1-17.

31 Dia H., 2002. An agent-based approach to modelling driver route choice behaviour under the influence of real-time information. *Transport. Res. C: Emerg. Tech.*, vol. 10(5-6), pp. 331-349.

32 Henein C.M., White T., 2005. Agent-based modeling of forces in crowds. Multi-agent and Multi-agent-Based Simulation. Berlin, Springer, pp. 173-184.

33 Batty M., 2003. Agent-based pedestrian modeling. In *Advanced spatial analysis: the CASA book of GIS*, 81 p.

34 Gatti D., Gaffeo E., Gallegati M., Giulioni G., Palestrini A., 2008. Emergent macroeconomics: an agent-based approach to business fluctuations. Berlin, Springer, 128 p.

35 Aoki M., Yoshikawa H., 2006. Reconstructing Macroeconomics: A Perspective from Statistical Physics and Combinatorial Stochastic Processes. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 352 p. (Japan-US Center UFJ Bank Monographs on International Financial Markets).

36 Schreinemachers P., Berger T., 2011. An agent-based simulation model of human-environment interactions in agricultural systems. *Environmental Modelling & Software*, vol. 26(7), pp. 845-859.

37 Balmann A., 1997. Farm-Based Modelling of Regional Structural Change: A Cellular Automata Approach. *European Review of Agricultural Economics*, vol. 24(1), pp. 85-108.

38 Berger T., 2001. Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis. *Agricultural Economics*, vol. 25(2–3), pp. 245-260.

39 Parker D.C. [et al.], 2003. Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 93(2), pp. 314-337.

40 Kremmydas D., 2012. Agent based modeling for agricultural policy evaluation: A review, 19 p. (AUA Working Paper Series, no. 3).

41 Gallegati M., Richiardi M.G., 2009. Agent Based Models in Economics and Complexity. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, New York, Springer, pp. 25.

42 Durlauf S.N., 1997. What Should Policymakers Know About Economic Complexity? Santa Fe Institute, 10 p.

43 Weisbuch G., Boudjema G., 2002. Dynamical Aspects in the Adoption of Agri-Environmental Measures. *Modeling Complexity in Economic and Social Systems*; edited by F. Schweitzer, New Jersey, London, Singapore, Hong Kong, World Scientific, pp. 245-272.

44 Kellermann K. [et al.], 2008. AgriPoliS 2.1 – Model Documentation. Technical Report, Halle, Saale, IAMO.

45 Lobianco A., 2018. RegMAS – Regional Multi Agent Simulator Overview (Version 1.3.0), available: https://sourceforge.net/projects/regmas/files/regmas/1.3.0/regmas_1.3.0.tgz/download.

46 Handayati Y., Simatupang T.M., Perdana T., Siallagan M.A., 2016. Simulation of Contract Farming Using Agent Based Modeling. *Journal of Operations and Supply Chain Management*, vol. 9, pp. 28-48.

47 Tzima F., Athanasiadis I.N., Mitkas P.A., 2007. Agent-based modelling and simulation in the irrigation management sector: applications and potential. *Water Saving in Mediterranean Agriculture (WASAMED 2007)*. *Options Mediterraneennes*, vol. 56-2, pp. 273-286.

48 Barreteau O., Bousquet F., 2000. SHADOC: A multi-agent model to tackle viability of irrigated systems. *Annals of Operations Research*, vol. 94, pp. 139-162.

49 Feuillet S., Bousquet F., Goulven P.L., 2003. SINUSE: A multi-agent model to negotiate water demand management on a free access water table. *Environmental Modelling & Software*, vol. 18, pp. 413-427.

50 Becu N., Perez P., Walker A.O., Barreteau C.L., 2003. Page Agent based simulation of a small catchment water management in Northern Thailand: Description of the CATCHSCAPE model. *Ecological Modelling*, vol. 170, pp. 319-331.

51 Farolfi S., Hassan R.M., 2003. AWARE: A Decision Support Tool towards decentralized water management in South Africa. *International Colloquium in Water Governance and Sustainable Development*. Sousse (Tunisia).

52 Bars M.L., Attonaty J.M., Pinson S., Ferrand N., 2005. An Agent-Based Simulation Testing the Impact of Water Allocation on Farmers Collective Behaviours. *Simulation*, vol. 81(3), pp. 223-235.

53 Lansing J.S., Kremer J.N., 1993. Emergent properties of Balinese water temple networks: coadaptation on a rugged fitness landscape. *American Anthropologist*, vol. 95, pp. 97-114.

54 Janssen M.A., 2007. Coordination in irrigation systems: An analysis of the Lansing-Kremer model of Bali. *Agricultural Systems*, vol. 93(1-3), pp. 170-190.

55 Denisova S.V., Bakhtizin A.R., 2011. *Agent-orientirovannaya model' integratsii organizatsionnykh kul'tur pri sliyaniyakh i pogloshcheniyakh kompaniy* [Agent based modeling of integration of organizational cultures in mergers and acquisitions of companies]. *Audit i finansovyy analiz* [Audit and Financial Analysis], no. 6, pp. 316-323. (In Russian).

56 Bakhtizin A.R., Denisov M.Yu., Shakhov V.V., 2008. *Primenenie agent-orientirovannogo podkhoda dlya issledovaniya rynka aviaperevozok* [The use of an agent-based approach for the study of the air transportation market]. *Federalizm* [Federalism], no. 4(52), pp. 221-231. (In Russian).

57 Makarov V., Ayvazyan S., Afanas'ev M., Bakhtizin A., Nanavyan A., 2016. *Modelirovanie razvitiya ekonomiki regiona i effektivnost' prostranstva innovatsiy* [Modeling the development of regional economy and an innovation space efficiency]. *Forsayt* [Foresight], vol. 10, no. 3, pp. 76-90. (In Russian).

58 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., 2015. *Agent-orientirovannaya sotsio-ekologo-ekonomicheskaya model' regiona* [An agent-oriented social-ecological-economic model of a region]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* [National Interests: Priorities and Security], no. 3(288), pp. 2-11. (In Russian).

59 Makarov V.L., Ageev A.I., Zelensky V.A., Loginov E.L., 2013. *Sistemnye osnovy resheniya upravlencheskikh zadach vzaimodeystviya fundamental'noy i prikladnoy nauki s proizvodstvennym sektorom kak osnovnoy faktor novoy industrializatsii Rossii* [System framework for solving management problems of the interaction of fundamental and applied science with the production sector as the main factor of new industrialization of Russia]. *Ekonomicheskie strategii* [Economic Strategies], vol. 15, no. 2(110), pp. 108-117. (In Russian).

60 Makarov V., 2008. *Ob ekonomicheskom razvitiy i ne tol'ko v kontekste budushchikh dostizheniy nauki i tekhniki* [On economic development and other issues in the context of future achievements in science and technology]. *Voprosy ekonomiki* [Economics Issues], no. 3, pp. 39-46. (In Russian).

61 Okrepilov V.V., Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Kuzmina S.N., 2015. *Primenenie superkomp'yuternykh tekhnologiy dlya modelirovaniya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem* [Application of supercomputer technologies for simulating socio-economic systems]. *Ekonomika regiona* [Economy of the Region], no. 2(42), pp. 301-312. (In Russian).

62 Makarov V.L., 2009. *Obzor matematicheskikh modeley ekonomiki s innovatsiyami* [Review of mathematical models of economics with innovations]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economics and Mathematical Methods], vol. 45, no. 1, pp. 3-14. (In Russian).

63 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., 2009. *Novyy instrumentariy v obshchestvennykh naukakh – agent-orientirovannye modeli: obshchee opisanie i konkretnye primery* [New tools in social sciences – agent-based models: a general description and specific examples]. *Ekonomika i upravlenie* [Economics and Management], no. 12(50), pp. 13-25. (In Russian).

64 Makarov V., Kleyner G., 2008. *Ekonomicheskoe razvitiye Rossii i problemy mikroekonomiki znaniy* [Russia's economic development and the problems of knowledge microeconomics]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya* [Problems of Theory and Practice of Management], no. 2, pp. 8-22. (In Russian).

65 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., 2013. *Komp'yuternoe modelirovanie vzaimodeystviya mezhdru munitsipalitetami, regionami, organami gosudarstvennogo uprav-*

leniya [Computer simulation of interaction between municipalities, regions, government authorities]. *Problemy upravleniya* [Management Problems], no. 6, pp. 31-40. (In Russian).

66 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., 2015. *Sovremennye metody prognozirovaniya posledstviy upravlencheskikh resheniy* [Modern methods of forecasting the consequences of administrative decisions]. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie* [Administrative Consulting], no. 7(79), pp. 12-24. (In Russian).

67 Makarov V.L., Ayvazyan S.A., Afanas'ev M.Yu., Bakhtizin A.R., Nanavyan A.M., 2014. *Otsenka effektivnosti regionov RF s uchetom intellektual'nogo kapitala, kharakteristik gotovnosti k innovatsiyam, urovnya blagosostoyaniya i kachestva zhizni naseleniya* [The estimation of the regions' efficiency of the Russian Federation including intellectual capital, characteristics of readiness for innovations, level of well-being and life quality of population]. *Ekonomika regiona* [Economy of the Region], no. 4(40), pp. 9-30. (In Russian).

68 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Vasenin V.A., Roganov V.A., Trifonov I.A., 2011. *Sredstva superkomp'yuternykh sistem dlya raboty s agent-orientirovannymi modelyami* [Means of supercomputer systems for working with agent-focused models]. *Programmnaya inzheneriya* [Software Engineering], no. 3, pp. 2-14. (In Russian).

69 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., 2016. *Situatsionnoe modelirovanie – effektivnyy instrument dlya strategicheskogo planirovaniya i upravleniya* [Situational modeling – the effective tool for strategic planning and management]. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie* [Administrative Consulting], no. 6(90), pp. 26-39. (In Russian).

70 Makarov V.L., 2002. *O matematicheskikh modelyakh konkurentsii mezhdru predpriyatiyami* [On mathematical models of competition between enterprises]. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoy Rossii* [Economics of Modern Russia], no.1, pp. 5-9. (In Russian).

71 Sokhova Z.B., Red'ko V.G., Nagoev Z.V., 2015. *Agent-orientirovannaya model' arendy sel'skokhozyaystvennykh ugodiy v regione* [Agent-based model for leasing agricultural land in the region]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bull. of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], no. 6-2(68), pp. 174-182. (In Russian).

Воеводина Лидия Анатольевна

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Voyevodina Lidiya Anatolyevna

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru